

## СТРУКТУРНО-МЕХАНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ХЛІБНИХ ВИРОБІВ ІЗ РІЗНИМ ВМІСТОМ БОРОШНА АМАРАНТУ

С. Ю. Миколенко<sup>1</sup>, Е. Б. Алієв<sup>2</sup>, О. Ю. Алієва<sup>2</sup>, Д. О. Долгіх<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Дніпровський державний аграрно-економічний університет

<sup>2</sup>Інститут олійних культур Національної академії аграрних наук України

Амарантове борошно внаслідок повної відсутності глютену може використовуватися лише як часткова заміна пшеничного борошна для пшеничного хліба на дріжджах. Хлібопекарські якості композитних пшенично-амарантових сумішей суттєво залежать як від технології виробництва, так і від сортових особливостей зерна амаранту, використаного для їх виробництва. Дослідження хлібопекарських властивостей композитних сумішей пшеничного та амарантового борошна, виготовленого з крупи амаранту, мають обмежений характер, а вплив такого борошна на черствіння хліба під час зберігання залишається недослідженим. Метою роботи є визначення впливу дозування амарантового борошна зі знежиреного зерна амаранту на якість хліба, тривалість його вистоювання і зміну структурно-механічних властивостей м'якушки хліба під час зберігання. В результаті досліджень структурно-механічних властивостей свіжого хлібу отримано закономірності зміни сили пружності свіжого хлібу  $F(t)$  від часу  $t$  і напруженості свіжого хлібу  $\sigma$  ( $\epsilon$ ) від його відносної деформації  $\epsilon$  для різного вмісту борошна амаранту  $\alpha$ . Залежність напруженості свіжого хлібу  $\sigma$  ( $\epsilon$ ) від його відносної деформації  $\epsilon$  надається у вигляді пружного гістерезису. Виявлено, що зі збільшенням вмісту борошна амаранту  $\alpha$  зменшується площа гістерезису, а саме показник статичного пружного гістерезису. В результаті дослідження зміни структурно-механічних властивостей хлібних виробів із різним вмістом амаранту через 2 доби встановлено, що напруженість хлібу за 25% деформації  $\sigma$  (25%) модуль пружності  $E$  може збільшитися в 1,8–1,9 рази, а показник статичного пружного гістерезису  $S$  – у 1,9–2,0 рази.

**Ключові слова:** амарант, борошно, хліб, структурно-механічні характеристики, напруженість, гістерезис.

**Вступ.** Хліб є одним із найбільш популярних харчових продуктів в усьому світі. Харчова цінність хліба і булочних виробів за рахунок їх щоденного споживання має суттєвий вплив на здоров'я людини, зокрема розвиток аліментарних захворювань і захворювань XXI століття. Глобальні тенденції дотримання здорового харчування стикаються із задоволенням високих очікувань споживачів щодо споживчих якостей харчових продуктів (Gallagher et al. 2005). Сьогодні у зв'язку зі зміною клімату все більшої уваги привертає пошук нетрадиційних харчових ресурсів, зокрема злакових і псевдозернових культур, стійких до посухи і не вибагливих до якості ґрунтів, які здатні змінити традиційні пшеницю, жито, кукурудзу (David et al. 2012; Aliiev et al. 2020; Aliiev et al. 2021). Під впливом світових трендів і державної політики агробізнес та харчова індустрія все більше схиляються до необхідності формування ресурсозберезувального підходу до перероблення харчової сировини, зниження

відходів вздовж продовольчого ланцюга (Airova et al. 2020). Відомо, що більшість відходів хлібопекарської продукції формується на останньому етапі, а саме під час споживання продукції, адже одними з найактуальніших проблем залишаються черствіння хліба й втрата його споживчих якостей під час зберігання (Mazzoncini et al. 2007), тому поширеним є використання поліпшувачів, застосування яких часто виходить за межі принципів виробництва здорових харчових продуктів.

Амарант є перспективною сільськогосподарською культурою, що, незважаючи на значну історію культивування, досі не отримала належного використання як джерело харчової сировини у світі (Bussmann et al. 2021). Переважно це пов'язано з недостатньою інформованістю населення щодо його поживної цінності та обмеженістю досліджень і розробок стосовно ефективного використання продуктів переробки амаранту у харчовій індустрії. Зерно амаранту є унікальним серед інших злакових і псевдозернових культур завдяки високому вмісту сквалену (4–8%), білка (13–18%) і його складу, близькому до ідеального, високому вмісту лізину, харчовим волокнам (8–18%), близьким до складу овочів і фруктів, а не злакових (Nyonje et al. 2021). Технологічні властивості борошняних і круп'яних продуктів переробки зерна амаранту зумовлюються як відсутністю у його складі гліадинів і проламінів, так і дрібними розмірами крохмальних зерен і наявним інгібітором альфа-амілази (Moreno et al. 2019). Сквален є багатою на кисень сполукою, тритерпеном і попередником стероїдів, що володіє антиканцерогенною, імуномодулюючою, антиоксидантною активністю. Природним джерелом сквалену є печінка глибоководних акул, а зерно амаранту є рослинним аналогом сировини для видобування сквалену або його введення у раціон харчування людей під час споживання амарантових продуктів.

Амарантове борошно внаслідок повної відсутності глютену може використовуватися лише як часткова заміна пшеничного борошна для пшеничного хліба на дріжджах (Singh et al. 2021). Хлібопекарські якості композитних пшенично-амарантових сумішей суттєво залежать як від технології виробництва, так і від сортових особливостей зерна амаранту, використаного для їх виробництва (Mykolenko et al. 2020). Однак більшість робіт, де досліджували композитні суміші з амарантовим борошном, присвячено використанню саме повножирового борошна (Nasir et al. 2020). Жирнокислотний склад зерна амаранту включає ліноленову кислоту, здатну швидко окислюватися і приводити до псування продукту. Вміст жиру в зерні амаранту значно вищий порівняно зі злаковими і становить 5–9% (Stankevich et al. 2021; Drobot 2002). Окрім цього, вилучення із зерна амаранту олії дає змогу додатково концентрувати сквален, а олія є високорентабельним продуктом, тому доцільним є використання знежирених продуктів переробки зерна амаранту для отримання амарантового борошна та їх використання у складі композитних сумішей для виробництва хліба. Наприклад, це стосується амарантового борошна, виготовленого з крупи амаранту, а саме з перисперму. Дослідження хлібопекарських властивостей композитних сумішей пшеничного та амарантового борошна, виготовленого з крупи амаранту, мають обмежений характер (Stakhurlova et al. 2020), а вплив такого борошна на черствіння хліба під час зберігання залишається невивченим, тому метою роботи є визначення впливу дозування амарантового борошна зі знежиреного зерна амаранту на якість хліба, тривалість його вистоювання, а

також зміну структурно-механічних властивостей м'якушки хліба під час зберігання.

**Матеріали та методи досліджень.** Для приготування хліба було використано борошно пшеничне вищого сорту виробництва ТОВ «Дніпромлин» (м. Дніпро, Україна). Амарантове борошно, використане протягом досліджень, отримане із зерна амаранту українських сортів шляхом шліфування зерна і, відповідно, знежирене. Амарантове знежирене борошно з крупи є подрібненим продуктом зі шліфованого зерна амаранту, позбавленого зародку й оболонки. Виробник амарантового борошна – ТОВ «Каскад» (м. Карлівка, Україна). Тривалість зберігання борошна до використання у дослідженнях становила не більше 1 місяця. Під час проведення досліджень борошно зберігали за температури  $+4\dots+10^{\circ}\text{C}$  протягом 2–3 місяців. Для пробних лабораторних випікань використовували також дріжджі пресовані хлібопекарські ТМ «Львівські» (м. Львів, Україна) та сіль кухонну харчову ТОВ «Артемсіль» (м. Київ, Україна).

Фактором досліджень було вибрано вміст борошна амаранту  $\alpha$  в діапазоні концентрацій 0–30% із кроком у 5%. Пробні лабораторні випікання проводили за стандартною методикою ГОСТ 27669 під час замішування тіста з 200 г борошна. Для приготування тіста використовували суміші пшеничного та амарантового борошна у співвідношеннях 100:0 (контроль), 95:5, 90:10, 85:15, 80:20, 75:25, 70:30. Кількість води, яка необхідна для формування тіста вологістю 43,5%, визначали з огляду на вологість вихідної сировини. Для замішування тіста усіх зразків використовували дріжджі пресовані хлібопекарські (5 г) та сіль (1,5 г), не застосовуючи ніяких ферментних препаратів і поліпшувачів. Бродіння тіста проводили за температури  $31\pm 1^{\circ}\text{C}$  протягом 170 хв, після 60 і 120 хв здійснювали обминання тіста. Після закінчення дозрівання тістові заготовки обминали й розміщали у форми для вистоювання у термостаті за температури  $37\pm 2^{\circ}\text{C}$ , кінець якого визначали органолептично й фіксували як тривалість вистоювання, виражену у хвилинах. Тістові заготовки випікали в лабораторній печі з паровим зволоженням пекарної камери за температури 220–230 $^{\circ}\text{C}$  протягом 30 хвилин. Через 4–6 годин визначали органолептичні, фізико-хімічні показники якості зразків хліба.

Зміну структурно-механічних характеристик хліба визначали через 24 і 48 години зберігання зразків за кімнатної температури за такими показниками: динаміка зміни зусилля стискання й напруженості, значення напруженості за відносної деформації  $\varepsilon = 25\%$ , модуль пружності, показник статичного пружного гістерезису.

Пружні характеристики хлібних виробів визначали за розробленою методикою, що включає такі етапи:

- 1) Буханку хліба поперечно розрізають на частини товщиною 25 мм.
- 2) Частини хлібних виробів по чергово розміщують на рівній горизонтальній поверхні (робочий стіл) в область під індентором циліндричної форми (діаметр – 21 мм, площа робочої поверхні –  $S = 3,464 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ ), який закріплений на тензодатчику, що переміщується у вертикальній площині. Тензодатчик із закріпленим на ньому індентором повинен бути відкаліброваним, а у стані спокою відповідати зусиллю 0 Н.
- 3) Встановлюється максимальне значення зусилля стискання  $F_{\text{max}}$  (Н), необхідне найбільше значення відносної деформації  $\varepsilon_{\text{max}}$  (%).

4) Далі індентор рівномірно і прямолінійно зі швидкістю 10 мм/с з верхньої точки починає опускатися вниз. За досягнення частини хлібного виробу зусилля на тензодатчику починає збільшуватися від 0 Н. Цей момент фіксується як початок процесу вимірювання. В цей момент часу формується значення товщини шару частини хлібного виробу  $X$  (мм) за умови, що робочий стіл відповідає початку координат 0 мм.

5) Під час процесу вимірювання формуються значення часу  $t$  (мс), абсолютної деформації  $\Delta x$  (мм) і зусилля стискання  $F$  (Н).

6) За досягнення значення абсолютної деформації  $\Delta x \geq \varepsilon_{\max} \cdot X/100$  (мм) або зусилля  $F \geq F_{\max}$  (Н) індентор зупиняється.

7) Далі індентор починає рухатися вгору рівномірно і прямолінійно зі швидкістю 10 мм/с. При цьому продовжуються формування значення часу  $t$  (мс), абсолютної деформації  $\Delta x$  (мм) і зусилля стискання  $F$  (Н).

8) Всі отримані дані зберігаються у базу даних.

9) Далі на основі отриманих даних розраховуються структурно-механічні властивості хліба. Так, зусилля стискання  $F$  (Н) перераховується у напруженість  $\sigma$  (кПа) за такою формулою:

$$\sigma = \frac{F}{1000 \cdot S} = 2.887 \cdot F \quad (1)$$

і зберігаються у базу даних.

10) З бази даних обертається значення напруженості за відносної деформації  $\varepsilon = 25\%$  і фіксується (рис. 1) як структурно-механічна характеристика хлібного виробу  $\sigma(\varepsilon = 25\%)$ .

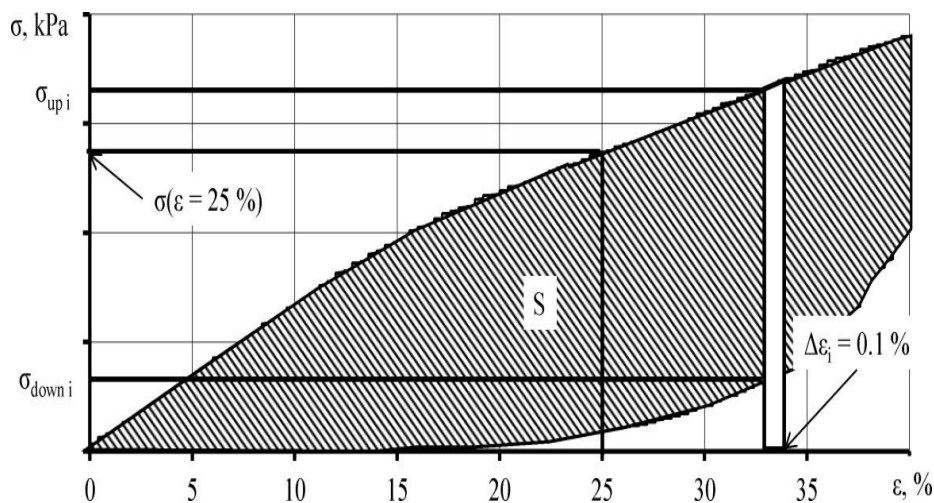


Рис. 1. Загальний вигляд залежності напруженості хліба від її відносної деформації

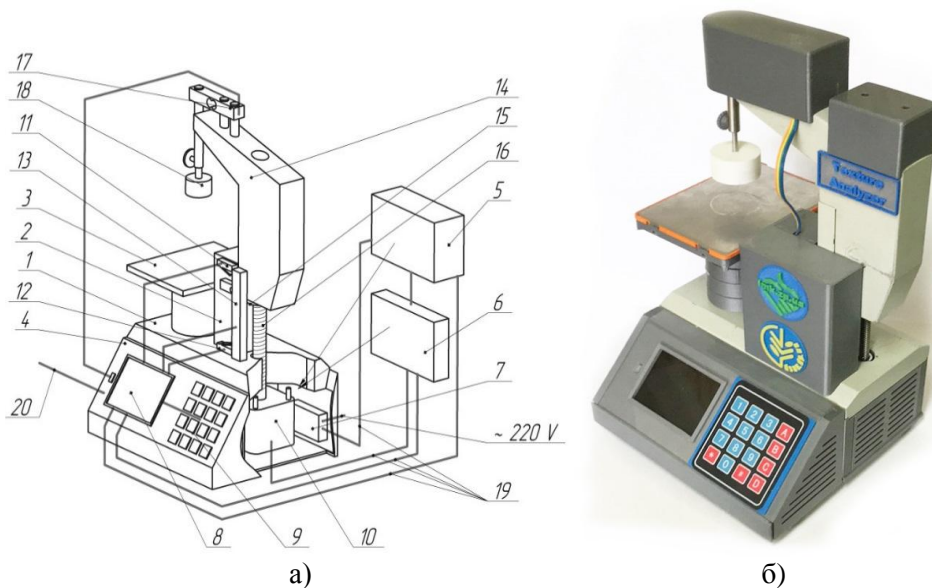
11) Модуль пружності хлібного виробу  $E$  (кПа) визначається за такою формулою (рис. 2):

$$E = \frac{100 \cdot \sigma_{\varepsilon = 25\%}}{25} = 4 \cdot \sigma_{\varepsilon = 25\%} \quad (2)$$

12) На основі отриманих залежностей  $\sigma$  ( $\epsilon$ ), які представляються у вигляді пружного гістерезису, визначається їхня площа (показник статичного гістерезису)  $S$  (кПа, %) за такою формулою (рис. 1):

$$S = \sum_{i=1}^{\epsilon_{\max}} \sigma_{\text{up } i} - \sigma_{\text{down } i} \Delta \epsilon_i = \sum_{i=1}^{10\epsilon_{\max}} 0.1 \sigma_{\text{up } i} - \sigma_{\text{down } i} \cdot (3)$$

Для реалізації розробленої методики визначення пружних характеристик хлібних виробів створено пристрій для автоматичного визначення структурно-механічних властивостей харчових продуктів. Конструктивно-технологічна схема й загальний вигляд пристрою для автоматичного визначення структурно-механічних властивостей харчових мас наведені на рис. 2.



- а) б)  
 1 – станина; 2 – направляюча; 3 – робочий стіл; 4 – короб; 5 – блок живлення; 6 – драйвер крокового двигуна; 7 – розетка із вимикачем; 8 – блок керування з LCD-дисплеєм; 9 – клавіатура; 10 – кроковий двигун; 11 – верхній кінцевий вимикач; 12 – нижній кінцевий вимикач; 13 – лінійний змінний резистор; 14 – штатив; 15 – гайка з біговими доріжками для кульок; 16 – різьбовий вал; 17 – тензодатчик; 18 – індентор циліндричної форми; 19 – електричні проводи; 20 – USB-вихід

**Рис. 2. Конструктивно-технологічна схема (а) і загальний вигляд (б) пристрою для автоматичного визначення структурно-механічних властивостей харчових продуктів**

Статистичне оброблення експериментальних даних проводили у середовищі MS Excel і STATISTICA. Кореляційний аналіз за Пірсоном здійснювали за  $p = 0,05$ , кластерний аналіз – агломеративним методом ієрархічної кластеризації (метод Уорда).

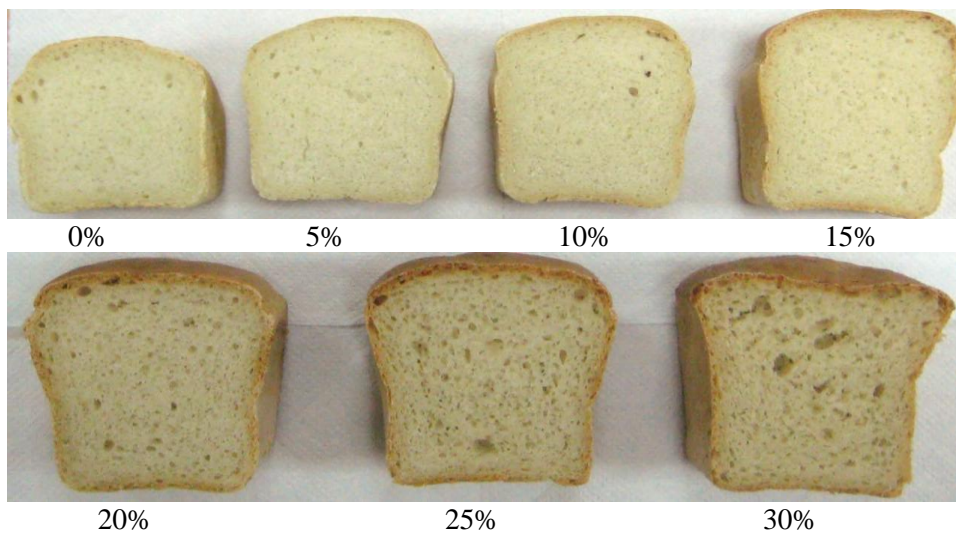
**Результати досліджень та їх обговорення.** В результаті досліджень проведено кваліметричне оцінювання якості хліба й визначено основні показники свіжого хлібного виробу з різним вмістом амарантового борошна (табл. 1).

Загальний вигляд зразків виготовленого хліба з різним вмістом борошна амаранту наведено на рис. 3, які відрізняються один від одного візуально.

Таблиця 1

**Структурно-механічні властивості хлібних виробів із різним вмістом амарантового борошна**

Показник якості хлібного виробу	Вміст амарантового борошна $\alpha$ , %						
	0	5	10	15	20	25	30
Значення напруженості за відносної деформації 25%, $\sigma$ (25%), кПа	53,4 $\pm$ 2,8	36,4 $\pm$ 1,6	34,5 $\pm$ 1,5	23,7 $\pm$ 2,4	21,6 $\pm$ 1,6	15,6 $\pm$ 0,7	9,2 $\pm$ 1,6
Модуль пружності E, кПа	212,8 $\pm$ 11,0	145,4 $\pm$ 6,4	138,2 $\pm$ 5,9	94,9 $\pm$ 9,5	86,3 $\pm$ 6,5	62,3 $\pm$ 2,7	36,9 $\pm$ 6,4
Показник статичного пружного гістерезису S, кПа, %	1412 $\pm$ 81	989 $\pm$ 86	965 $\pm$ 70	668 $\pm$ 70	634 $\pm$ 48	454 $\pm$ 28	286 $\pm$ 48



**Рис. 3. Зразки хлібних виробів із різним вмістом борошна амаранту  $\alpha$**

На рис. 4 представлено залежності зміни сили пружності свіжого хлібу  $F(t)$  від часу  $t$  і напруженості свіжого хлібу  $\sigma$  ( $\epsilon$ ) від його відносної деформації  $\epsilon$  для різного вмісту борошна амаранту  $\alpha$ . Залежність напруженості свіжого хлібу  $\sigma$  ( $\epsilon$ ) від його відносної деформації  $\epsilon$  представляється у вигляді пружного гістерезису. Із збільшенням вмісту борошна амаранту  $\alpha$  зменшується площа гістерезису, що підтверджує рис. 5, а саме показник статичного пружного гістерезису. Для модуля пружності E і значення напруженості хлібного виробу за

© С. Ю. Миколенко, Е. Б. Алієв, О. Ю. Алієва, Д. О. Долгіх

25% деформації  $\sigma$  (25%) спостерігається подібна закономірність, тобто зменшення їх значень із збільшенням вмісту борошна амаранту  $\alpha$ . Це пояснюється збільшенням пористості м'якушки  $\delta$  і зменшенням питомого обсягу  $\rho$ .

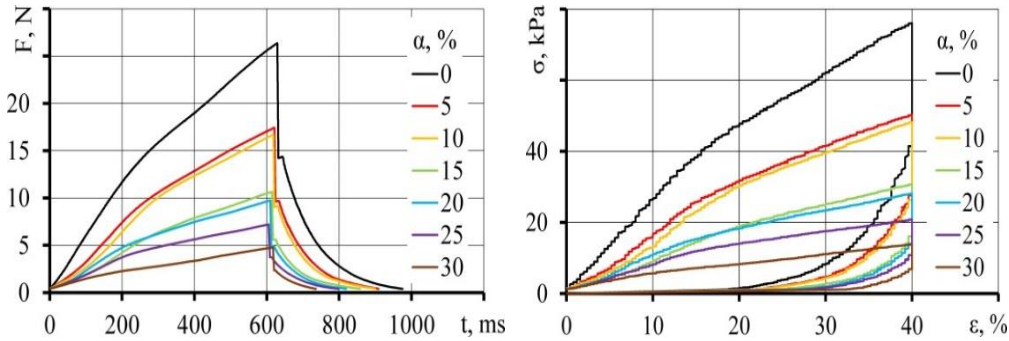


Рис. 4. Динаміка зміни сили пружності свіжого хлібу  $F(t)$  і напруженості свіжого хлібу  $\sigma(\epsilon)$  залежно від вмісту амаранту  $\alpha$

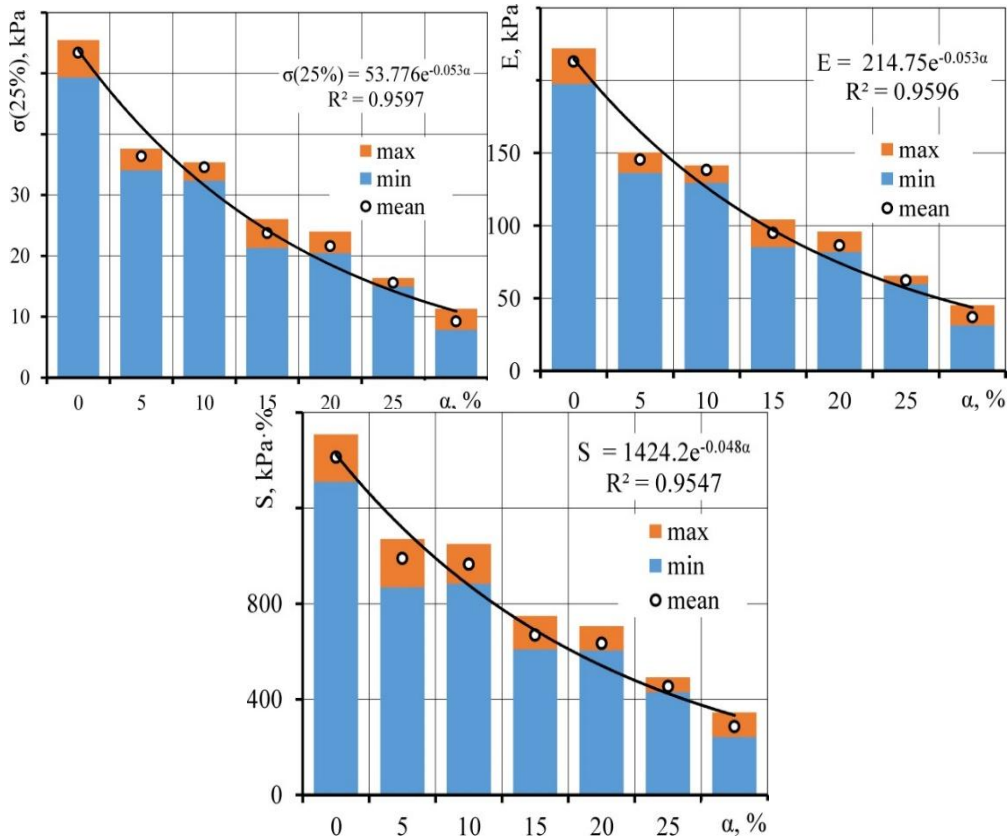


Рис. 5. Залежність напруженості хлібного виробу за 25% деформації  $\sigma$  (25%), його модуля пружності  $E$  й показника статичного пружного гістерезису  $S$  від вмісту амаранту  $\alpha$

Додатково отримано результати зміни структурно-механічних властивостей хлібних виробів із різним вмістом амаранту через 2 доби зберігання

© С. Ю. Миколенко, Е. Б. Алієв, О. Ю. Алієва, Д. О. Долгіх

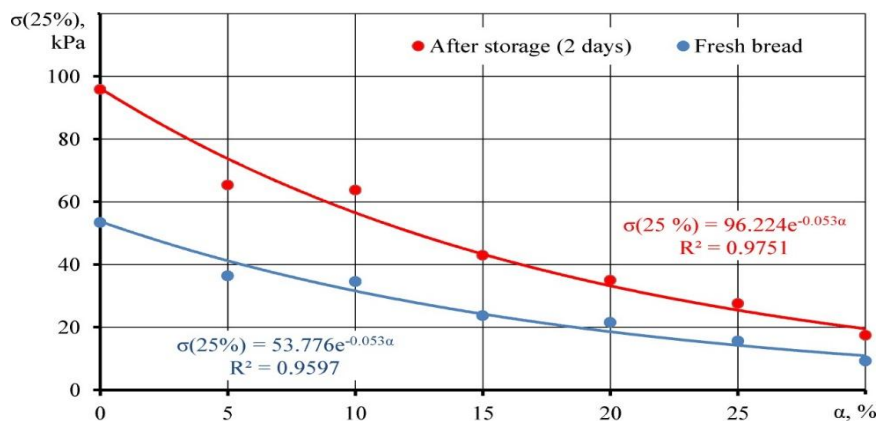
без доступу кисню за нормальних умов (температура – 25°C, вологість – 60%). Порівняльна оцінка наведена в табл. 2.

Таблиця 2

**Зміна структурно-механічних властивостей хлібних виробів залежно від тривалості зберігання**

Хліб після зберігання, годин	Вміст амарантового борошна $\alpha$ , %						
	0	5	10	15	20	25	30
Значення напруженості за відносної деформації 25% $\sigma$ (25%), кПа							
24	53,4±2,8	36,4±1,6	34,5±1,5	23,7±2,4	21,6±1,6	15,6±0,7	9,2±1,6
48	95,8±3,2	65,3±2,8	63,7±2,8	43,0±2,6	35,0±1,8	27,5±1,7	17,4±0,9
Модуль пружності E, кПа							
24	212,8±11,0	145,4±6,4	138,2±5,9	94,9±9,5	86,3±6,5	62,3±2,7	36,9±6,4
48	382,6±12,1	261,4±10,2	254,9±7,8	172,0±10,1	139,9±8,2	110,1±4,3	69,8±4,9
Показник статичного пружного гістерезису S, кПа, %							
24	1 412±81	989±86	965±70	668±70	634±48	454±28	286±48
48	2 733±101	1 807±99	1 810±80	1 239±82	1 067±66	827±35	576±34

Графічна інтерпретація отриманих залежностей згідно з табл. 2 наведена на рис. 6–8. З рис. 6–8 видно, що під час зберігання хліба змінюються його структурно-механічні властивості. Так, за 2 доби напруженість хлібу за 25% деформації  $\sigma$  (25%) модуль пружності E може збільшитися в 1,8–1,9 рази, а показник статичного пружного гістерезису S – у 1,9–2,0 рази. Така зміна механічних властивостей хліба свідчить про його старіння та зміну його мікроструктури. Слід зазначити, що наявність амарантового борошна приводить до зменшення напруженості хлібу за 25% деформації  $\sigma$  (25%) і модуля пружності E.



**Рис. 6. Залежність напруженості хлібу за 25% деформації  $\sigma$  (25%) від вмісту амарантового борошна  $\alpha$  і тривалості зберігання продукту**



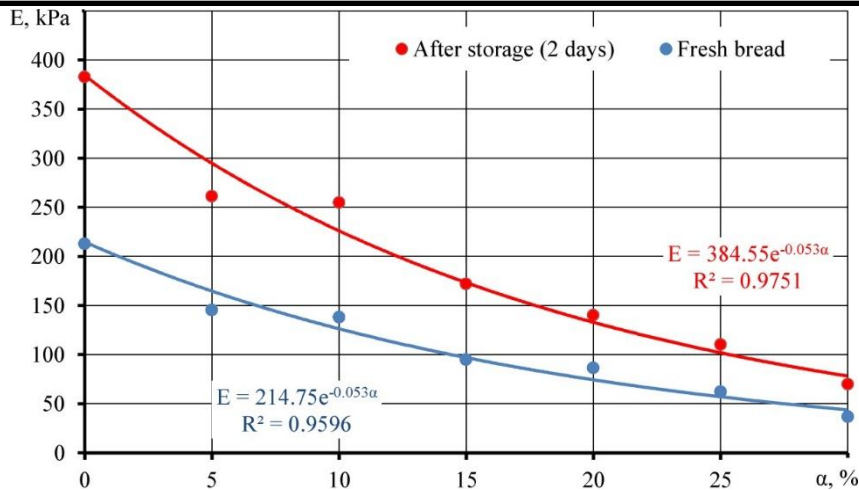


Рис. 7. Залежність загального модуля напруженості хлібу  $E$  від вмісту амарантового борошна  $\alpha$  і тривалості зберігання продукту

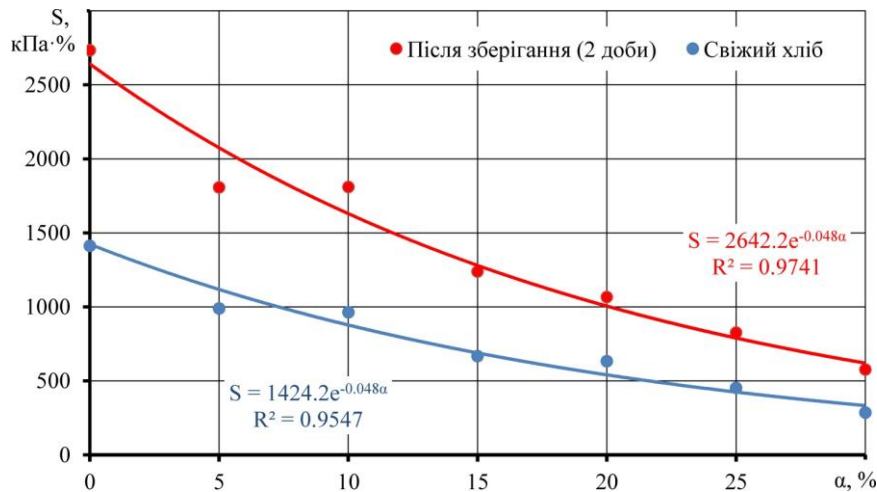


Рис. 8. Залежність площі гістерезису напруженості хлібу  $S$  від вмісту амарантового борошна  $\alpha$  і тривалості зберігання продукту

### Висновки

В результаті дослідження визначено вплив дозування амарантового борошна зі знежиреного зерна амаранту на зміну структурно-механічних властивостей готової продукції за параметрами динаміки зміни зусилля стискання і напруженості, значення напруженості за відносної деформації  $\epsilon = 25\%$ , модуля пружності, показника статичного пружного гістерезису.

В результаті дослідження структурно-механічних властивостей свіжого хліба отримано закономірності зміни сили пружності свіжого хлібу  $F(t)$  від часу  $t$  і напруженості свіжого хлібу  $\sigma$  ( $\epsilon$ ) від його відносної деформації  $\epsilon$  для різного вмісту амарантового борошна  $\alpha$ . Залежність напруженості свіжого хлібу  $\sigma$  ( $\epsilon$ ) від його відносної деформації  $\epsilon$  представляється у вигляді пружного гістерезису. Виявлено, що зі збільшенням вмісту амарантового борошна  $\alpha$  зменшується площа гістерезису, а саме показник статичного пружного гістерезису.

В результаті дослідження зміни структурно-механічних властивостей хліба з різним вмістом амарантового борошна через 2 доби встановлено, що напруженість хліба за 25% деформації  $\sigma$  (25%) модуль пружності  $E$  може збільшитися в 1,8–1,9 рази, а показник статичного пружного гістерезису  $S - y$  в 1,9–2,0 рази.

### **References**

Aipova R, Abdykadyrova AB, Kurmanbayev AA (2020) Biological products in organic agriculture. *Plant biotechnology and breeding*, 2(4):36–41. DOI:10.30901/2658–6266–2019–4–04

Aliiev E, Aliieva O, Maliehin R (2020) Technical and technological provision of complex waste processing of plant raw oil cultures in food for organic animals. *Scientific Horizons* 07 (92):112–19. DOI:10.33249/2663–2144–2020–92–7–112–119

Aliiev E, Maliehin R, Ivliev V, Aliieva O (2021) Simulation of the process of cavitation treatment of liquid feed. *Tekhniko–tekhnologichne zabezpechennya kompleksnoi bezvidhodnoi pererobki roslinnoi sirovini olijnih kultur u kormi dlya organichnogo tvarinnictva. Scientific Horizons* 24(2):16–26. DOI:10.48077/scihor.24(2).2021.16–26

Bussmann RW, Paniagua–Zambrana NY, Njoroge GN (2021) *Amaranthus hybridus* L. *Amaranthus spinosus* L. *Amaranthaceae*. *Ethnobotany of the Mountain Regions of Africa. Ethnobotany of Mountain Regions*. Springer, Cham. DOI:10.1007/978–3–030–38386–2\_15

David C, Abecassis J, Carcea M, Celette F, Friedel JK, Hellou G, Hiltbrunner J, Messmer M, Narducci V, Peigné J, Samson MF, Schweinzer A, Thomsen IK, Thommen A (2012) Organic Bread Wheat Production and Market in Europe. *Sustainable Agriculture Reviews*. 11:43–62. DOI:10.1007/978–94–007–5449–2\_3

Drobot VI (2002) *Bakery production technology*. Publishing House “Logos”:365

Gallagher E, Keehan D, Butler F (2005) Development of organic breads and confectionery:32

Mazzoncin M, Belloni P, Risaliti R, Antich D (2007) Organic Vs Conventional Winter Wheat Quality and Organoleptic Bread Test. 3rd QLIF Congress, Hohenheim, Germany, March:20–23. <https://orprints.org/id/eprint/9753/1/Mazzoncini-et-al-2007-WheatBreadQuality.pdf>

Moreno CR, Cuevas-Rodriguez EO, Reyes Fernandez PC (2019) Amaranth: Processing, Product Development, and Nutritional Aspects. *Whole Grains* 23. DOI:10.1201/9781351104760–1

Mykolenko S, Zhygunov D, Rudenko T (2020) Baking properties of different amaranth flours as wheat bread ingredients. *Food Science and Technology* 14 (4):62–71. DOI:10.15673/fst.v14i4.1896

Nasir S, Allai FM, Gani M, Ganaie S, Gul K, Jabeen A, Majeed D (2020) Physical, Textural, Rheological, and Sensory Characteristics of Amaranth-Based Wheat Flour Bread. *International Journal of Food Science* 1–9. DOI:10.1155/2020/8874872

Nyonje WA, Schafleitner R, Abukutsa–Onyango M, Yang RY, Makokha A, Owino W (2021) Precision phenotyping and association between morphological traits

and nutritional content in Vegetable Amaranth (*Amaranthus spp.*). Journal of Agriculture and Food Research 5:1–8. DOI:10.1016/j.jafr.2021.100165

Singh M, Liu SX (2021) Evaluation of amaranth flour processing for noodle making. Journal of Food Processing and Preservation 45(4). DOI:10.1111/jfpp.15270

Stakhurlova AA, Derkanosova NM, Aristov AV, Ponomareva IN, Sutolkin AA (2020) Experimental evaluation of amaranth food products in terms of functional food ingredients. BIO Web of Conferences 17, 00147. DOI:10.1051/bioconf/20201700147

Stankevich G, Valentiuk N, Ovsianynkova L, Zhygunov D (2021) Changes in quality of amaranth grain in the process of post-harvesting processing and storage. Food Science and Technology 15(1):80–90. DOI:10.15673/fst.v15i1.1959

## **STRUCTURAL AND MECHANICAL CHARACTERISTICS OF BREAD PRODUCTS WITH DIFFERENT CONTENTS OF AMARANT FLOUR**

**S. Mykolenko<sup>1</sup>, E. Aliiev<sup>2</sup>, O. Aliieva<sup>2</sup>, D. Dolgih<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Dnipro State Agrarian and Economic University*

<sup>2</sup>*Institute of Oilseed Crops of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine*

**As amaranth flour is gluten-free, it can be used only as a partial replacement of wheat flour for making yeast bread. Baking qualities of composite wheat-amaranth flour significantly depend on both the grain processing and the varietal characteristics of used amaranth grains. Studies on the baking properties of composite mixtures of wheat and amaranth flours are limited, and the effect of such flour on the bread freshness during storage is still unexplored. The research aim was to determine the impact of application of amaranth flour made of partially defatted amaranth grain on the bread quality, staleness, and the change of the structural and mechanical properties of bread crumbs during storage in particular. As a result of the study of structural and mechanical properties of fresh bread, change elasticity force of fresh bread  $F(t)$  from time  $t$  and tension of fresh bread  $\sigma(\epsilon)$  from its relative deformation  $\epsilon$  for various content of amaranth flour  $\alpha$  were received. The dependence of the tension of fresh bread  $\sigma(\epsilon)$  on its relative deformation  $\epsilon$  was represented as elastic hysteresis. It was found that with increasing the content of amaranth flour,  $\alpha$  the area of hysteresis decreases, namely, the static elastic hysteresis index. Consequently, the studies of changes in structural and mechanical properties of bread products with different amaranth content after 2 days, it was found that the tension of bread crumb at 25% strain  $\sigma(25\%)$  and the modulus of elasticity  $E$  can increase 1.8–1.9 times, while the static elastic hysteresis  $S$  – 1.9–2.0 times.**

**Key words:** amaranth, flour, bread, structural and mechanical characteristics, tension, hysteresis.